

〈プロジェクト研究論文〉

2015 年 3 月 修了 (予定)

意味的価値創造によるベンダーの優位性構築

～半導体装置産業における事例～

学籍番号：35132451-0

氏名：田中 隆志

ゼミ名称：MOT イノベーションと価値創造

主査：長内 厚 准教授 副査：吉川 智教 教授

概 要

本論文は、補完商品を提供しているベンダーがコア製品を製造しているメーカーに対して優位性を構築するための企業戦略の一つの方策を示すことを目的としており、そのために統合力によって創造される意味的価値を提供することでベンダーが比較優位になった事例について考察する。

B to B における意味的価値は顧客企業に経済的価値をもたらすことが重要で、企業間の信頼関係の構築や、ソリューションの提供などサービスの要素が強い。また擦り合わせ型製品の方が意味的価値を創造し付加価値を大きくしやすいことから、擦り合わせ型のソリューションを提供することにより付加価値を獲得する重要性が先行研究で述べられている。本論文では擦り合わせ型製品によってベンダーが優位性を構築し、このために求められる意味的価値を創造する手段として統合力が有効であることを、半導体装置産業の事例を用いて検証する。

半導体デバイス製造において歩留りを低下する重要な要因として発塵と製造装置の性能限界の問題がある。このため日本のデバイスメーカーは発塵の影響を減らすためウェハーの自動化を推進した。また自社で開発したプロセスのノウハウを組み込んだ製造装置を内製することで、歩留まり改善のための製造プロセスの安定化と、先端デバイスの早期開発による競合他社との差別化を図ろうとした。これに対して装置ベンダーは製造装置というハードウェアの販売から個別プロセスのレシピ付き装置、さらに他社装置と組んで工程全体をサポートするプロセスモジュールの提供を行うことで、デバイスメーカーに対する立場を強化してきた。装置ベンダーは提供するサービスを、組み合わせ型のハードウェアという機能的価値から、擦り合わせ型のソリューションという意味的価値に移行することで、付加価値の向上を実現した。またこのソリューションによりデバイスメーカーはプロセスモジュールを組み合わせるだけの機能的価値しか獲得できなくなり、デバイス製造において自社プロセスのノウハウによる擦り合わせ型の価値創造が困難となった結果、装置ベンダーがデバイスメーカーに対して比較優位になったと考えられる。この事例においては新しい製造ラインやプロセスを立ち上げる際に「リスクの回避」という意味的価値を提供したことにより実現し、自社の枠組みを超え他社メーカーと組むソリューションを実現させた統合力が意味的価値を創造する実行手段として有効であることを確認した。

インプリケーションとして自動車のような擦り合わせ型製品では社内での統合が有効であるという議論に対して、このような製品においても外部組織による統合の有効性について検証ができたと考えられる。また本事例におけるソリューションが成功した理由にはデバイス技術の多様化に対応するためという要因があり、技術進化の速い産業においてベンダーが優位性を構築できた一例を示せた。今後の課題としては自社製品の範囲を超えて提供するソリューションが創出する意味的価値と、そのために必要なコストや考えられるリスクとのトレードオフが挙げられる。

<目次>

1.	はじめに	3
2.	擦り合わせ型製品の意味的価値と優位性の構築	5
	2.1 機能的価値と意味的価値	5
	2.2 B to Bにおける意味的価値	5
	2.3 擦り合わせ型製品における意味的価値	7
	2.4 サプライチェーンの位置取りと優位性の構築	7
	2.5 本研究における議論に関して	8
3.	事例研究	9
	3.1 半導体デバイスの製造プロセスについて	9
	3.2 日本の半導体産業の歴史	11
	3.3 デバイスメーカーの取り組み	12
	3.4 装置ベンダーの戦略	18
	3.5 現在の装置ベンダーの役割	21
4.	考察	22
	4.1 装置ベンダーが提供した意味的価値	22
	4.2 意味的価値創造の実行手段としての統合力	24
	4.3 プラットフォーム・リーダーとしての装置ベンダー	26
5.	インプリケーションと今後の課題	28
	謝辞	29
	参考文献	30

1. はじめに

この論文は、補完商品を提供しているベンダーがコア製品¹を製造しているメーカーに対して優位性を構築するための企業戦略の一つの方策を示すことを目的としており、そのために統合力によって創造される意味的価値を提供することでベンダーが比較優位になった事例について考察する。この章では、この目的に至った経緯について説明する。

近年日本の総合電機メーカーの凋落が著しい。これはデジタル家電に代表される製品において技術的な差別化を図りながらも、顧客にその価値を認識させるところまで至っていないため、価格による差別化しか提供できるものがなくなっているためである。一方アップル社の iPhone は基本的な機能は他のスマートホンに比べて劣っているにもかかわらず、新製品の販売時には早朝からアップルストアに購入を希望する顧客が行列をなすくらいの人気を博している。延岡（2011）は機能的価値と意味的価値の議論において、大型の液晶テレビにおいて高度な技術により輝度や視野角を向上したとしても、顧客が現状のテレビの性能に十分満足していれば、顧客はその付加価値に対して対価を支払ってくれないことを述べている。またモジュラー化が進み競合企業から同じような製品が販売されることで価格の過当競争が起きるため、意味的価値だけによる差別化は難しい。それに対して iPhone のような使い勝手の良さや持っていることの優越感などの意味的価値は模倣困難であり、付加価値を創造しやすくなっている。これらの例からも企業にとって意味的価値を創造することの重要性が理解できると考える。

しかしながらアップル社の iPhone は大きな付加価値を創造しているにもかかわらず、その付加価値の多くはアップル 1 社が獲得しており、iPhone で使用される部品を供給しているベンダーや、組み立てを担当している EMS（Electronics Manufacturing Service、電子機器製造受託サービス）などはアップル社への依存が多いにもかかわらず、その価値の恩恵をあまり受けていないという現実がある（図 1）。

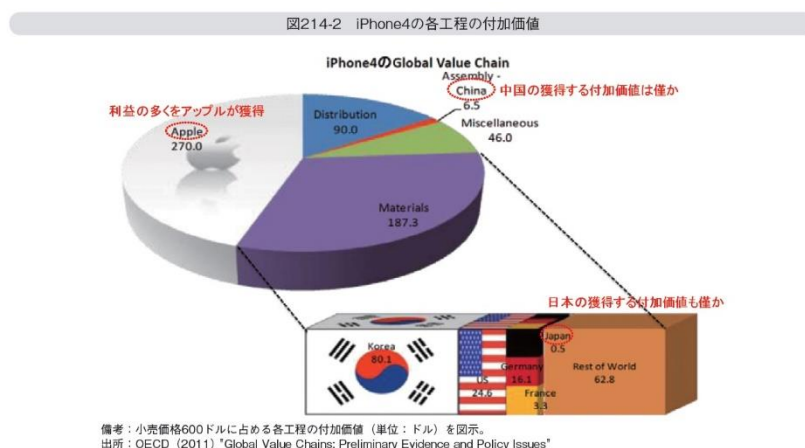


図 1：iPhone4 の各工程の付加価値 （出典：2012年版ものづくり白書）

<http://www.meti.go.jp/report/whitepaper/mono/2012/index.html>（2015/1/6 閲覧）

¹ Gawer & Cusumano（2005）は補完製品に対して主たる製品をコア製品と言っている

1980 年代の半導体産業も同じような状況にあったと考えられる。半導体製造装置のベンダー（以下、装置ベンダー）は半導体デバイスを製造しているメーカー（以下、デバイスメーカー）の下請け的存在で、要求通りのものを納入することで精一杯であった。装置ベンダー間でも競合が存在していたため、納期や価格に対する要求は厳しく、デバイスメーカーごとの特別仕様であってもそれを受けざるを得なかった。しかしながら現在の状況は、装置ベンダーによるサポートがなければデバイスメーカーの製造が成り立たないまでになっている。特に設計・開発部門を持たず製造部門に特化したファウンダリーと呼ばれる企業が飛躍した理由に、製造装置ベンダーによるサポートが大きかったことが挙げられる。なぜデバイスメーカーの下請けであった装置ベンダーが半導体の製造技術をリードする企業になることができたのか。

意味的価値による付加価値創造が機能的価値によるものより大きいとすれば、デバイスメーカーは意味的価値を向上することでその付加価値を最大化しようとし、そのため装置ベンダーに対しては機能的価値の部分を押し付けようとする駆け引きが存在する。通常メーカーの規模の方がベンダーに比較して大きいため、弱い立場のベンダー側がその要求を受け入れざるを得ないことが多い。しかしながら組み合わせ型産業においてはインテルの様に補完業者であるベンダーが PC メーカーをリードする存在になった例もある（Gawer & Cusumano, 2002）。本論文では擦り合わせ型産業である半導体産業で補完業者が比較優位になった事例について考察し、優位性を構築するための企業戦略の一つの方策を示す。

2. 擦り合わせ型製品の意味的価値と優位性の構築

2.1 機能的価値と意味的価値

この章においては、優位性を構築するための擦り合わせ型製品における意味的価値に関して既に議論されている先行研究をまとめる。

顧客が製品に対して金銭を支払うのはその価値を認めたからである。価値の内容にもいくつかあることが議論されている。延岡（2006）は価値には機能や性能など定量的な数値で表すことができる機能的価値と、個人の感性などで判断される意味的価値があることを述べており、機能的価値は商品のモノとしての価値（機能や性能）であり、定量的に表すことが可能である。たとえばコンピュータの演算速度や、デジタルカメラの画素数など、製品間での定量的な比較ができる要素を挙げている。それに対して意味的価値は顧客がその商品に対して特別な意味を見出す主観的なもので、定義が難しく定性的で暗黙的な価値であることを示している。「経験価値」（Schmitt、1999）や「感性価値」（長沢、2002）などは経験や感性などの顧客が意味づける価値の内容の一例であり意味的価値に近い概念であるが、意味的価値の概念はそれらすべてを包括したものであることを述べている（延岡、2011）ため、本論文では意味的価値という概念をもとに議論を進める。企業にとって先進技術の開発は重要であるが、製品の性能が向上し顧客の要求水準を超えてしまうとデジタルカメラのように顧客のニーズはすぐに満たされてしまう。そうすると顧客は必要以上の性能と判断し、そのコスト上昇に見合う対価を支払ってくれなくなる。また製品のコモディティ化が進むと競合他社からも同じような製品が出てくるので、技術向上がもたらす機能的価値だけの差別化は困難になっている（延岡、2011）。この状況では機能的価値だけで商品の差別化が難しくなり価格を下げなければ競争できなくなるので、意味的価値のような新たな軸で商品を開発することが求められている（延岡、2006）。このことから装置ベンダーが提供する製品の意味的価値をどのようにして創造するか重要な戦略と考える。

2.2 B to B における意味的価値

B to C における消費財の特徴として、顧客個人の感性やこだわり趣味性によって価値が意味づけられる場合が多いため、その商品に対するニーズがわかりにくく売れる商品の予測が難しい市場であることが挙げられるが、意味的価値が顧客の主観的な基準によって意味づけられる点において、B to B と B to C における意味的価値は同じと考えられる。しかしながら B to C における消費財と異なり、B to B における生産財の意味的価値は顧客企業において経済的な価値をもたらす必要があることを延岡

（2011）は述べている。消費財の意味的価値はその価値基準があいまいな場合が多く、デザインや感性に訴えかける操作感の実現など商品開発的要素が多いのに対して、生産財においては企業間の信頼構築、コンサルティング・ソリューションの提供、保守・管理など、サービスの要素が強いことから、装置ベンダーが提供するサポートの重要性を理解することができる。また B to B において意味的価値を生み出すためには顧客の生産プロセスや問題点などに関する深い理解が求められるが、そのための戦略やシステムが企業で作り出せれば消費財と比較して生産財の方が競合他社に

対して競争優位を確立することができる確率が高くなる。このためには自社製品に関することであれば顧客以上に顧客企業の内部の経営プロセスを理解することが求められる。つまり顧客と同じ立場に立って物事を考え、どのような製品であれば顧客にとって購入する意味があるか理解することが求められているといえる。延岡（2011）は生産財における意味的価値で顧客と価値の特性と価値づくりの源泉の2軸を示し、顧客価値の特性として顕在的なものと潜在的なものを、価値づくりの源泉としては商品そのものと固有の問題解決能力の2軸を挙げている。これらの中で図2のような提案型商品や新コンセプト、ソリューションやコンサルティングサービスの部分を意味的価値の領域であると定義している。長内、榊原（2012）はコマツの事例で左下の顕在的商品の建設機械に対して右上の潜在的ソリューションのKOMTRAX／CSS-Netをサービスによる意味的価値として挙げており、建設機械自体は機能的価値であり模倣されるが、販売後のサポート体制による意味的価値の創造により差別化を図っていることを述べている。このようにサービスサポートによる意味的価値の創造は装置ベンダーにおいても付加価値獲得のための重要な手法であると考えられる。

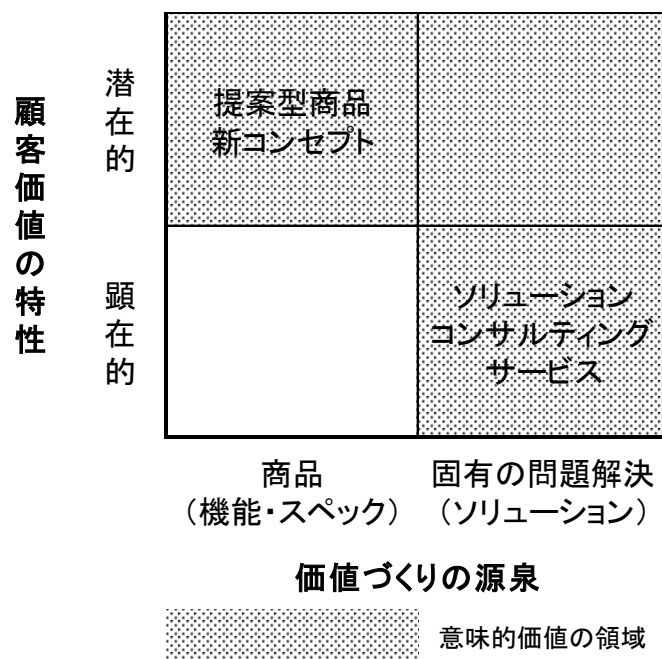


図2：生産財の意味的価値 （出典：延岡、2011）

またこれらの意味的価値を作る場合に重要な点として3つの項目を挙げている。まず1つめは顧客企業が気付いていないような潜在ニーズに対応した製品である。2つめは製品の価値だけではなく顧客に提供できるソリューション（問題解決）である。3つめが特定の顧客への価値だけではなくその製品が普遍性を持っていることである。これらの意味的価値を顧客へ提案するためには顧客企業の業務を顧客以上に知ることが求められる。これは自社が提供する製品に関しては自社の得意分野なので顧客企業の事業内容や現場のプロセスを十分に調査することができるべきで、複数の取引先企業から学ぶことができることを考えても個々の顧客企業より知識によって上の立

場に立つことは十分に可能である（延岡、2011）。特に3つめの普遍性に関しては、複数のメーカーに製品を提供する装置ベンダーにとって非常に重要な内容であると考ええる。

2.3 擦り合わせ型製品における意味的価値

延岡（2011）はこの意味的価値は擦り合わせ型商品と相互依存的に共存する関係にあり、たとえば自動車のように擦り合わせ型が残せる商品と、多くのデジタル商品のように組み合わせ型になってしまう商品において、両社の商品コストと顧客の価値を表すと図3のようになることを述べている。

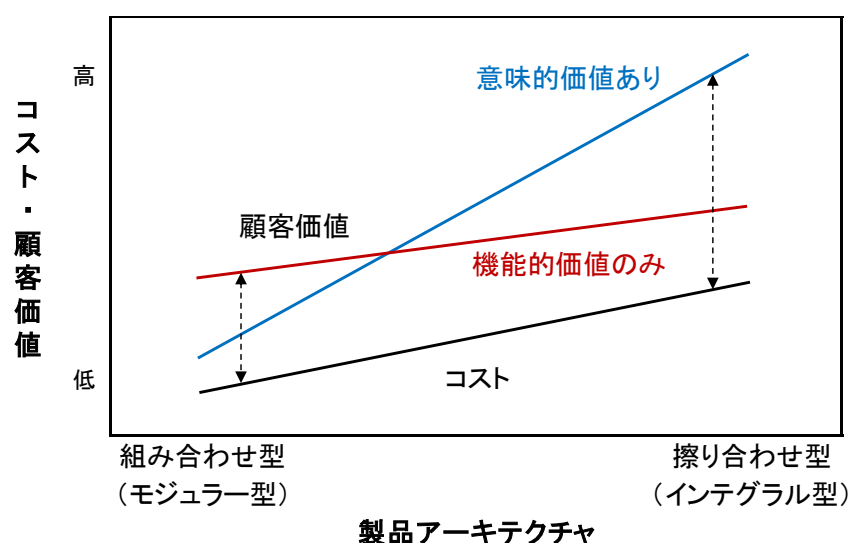


図3：擦り合わせ型商品と意味的価値（出典：延岡、2011）

たとえば大型液晶テレビで輝度やコントラスト比を高めても、現在のテレビでも十分にきれいなので顧客が付加価値を認めなかったり、競合企業が早い段階で追い付き価格競争になったりして顧客価値は十分に大きくならない。このような機能的価値のみの商品は擦り合わせにコストをかけるより、組み合わせ型でコストを低減するほうが付加価値は大きくなることが分かる。つまり擦り合わせ型のようにこだわりのものづくりにコストをかけるのであれば、機能的価値だけではなく意味的価値を創りだし、そのコスト高に見合う顧客価値を獲得しなければならない。擦り合わせ型製品によって意味的価値を創造し、大きな付加価値を生み出すことが重要であるという点は、装置ベンダーが置かれている状況から考えても目指すべき方向であるといえる。

2.4 サプライチェーンの位置取りと優位性の構築

意味的価値を最大化することは重要であるが、メーカーとベンダーなどサプライチェーンにおける位置取りによっては付加価値の獲得がしやすい企業としにくい企業が存在する。Gawer & Cusumano（2005）は自動車のようなコア製品を製造する企業と、タイヤのような補完製品を提供する企業との間では相互依存を反映する関係を構築してきたが、そこでのパワー・バランスはほとんどの場合コア製品の製造業者が握

っていることを述べ、技術的・戦略的なリーダーシップが重要となるのは多くの産業においてより多い補完製品が存在するにつれ、プラットフォームの価値が増大することを理由として挙げている。ここでのプラットフォームとはある製品に基づいて他社が製品を作りサービスを提供する基盤となることで、プラットフォーム・リーダーを目指すことで他社のイノベーションから利益を得ることが可能となる。インテルはPCの主要部品ではあるが1部品に過ぎない立場から、PCI（周辺機器の相互接続）バスの開発と業界での採用を通してプラットフォーム・リーダーの地位を入れることができた。組み合わせ型製品のPCにおいて部品メーカーのインテルが優位性を構築することができているにもかかわらず、車載用半導体でシェアのトップを占めるルネサスは自動車メーカーに対しての立場が強くない事例も存在する。装置ベンダーのように補完製品を提供する企業にとって、コア製品のデバイスメーカーに対し、どのようにして優位性の構築を目指すのかが戦略上重要になることは間違いない。

2.5 本研究における議論に関して

これまでに擦り合わせ型製品の方が意味的価値を創造し、付加価値を獲得しやすいという議論があった。しかしながらプラットフォーム・リーダーのようにサプライチェーン内での位置取りによって付加価値を獲得しやすい企業としにくい企業の差が生じている。特に半導体産業における装置ベンダーのような補完製品を提供している企業はコア製品の製造業者であるデバイスメーカーに比べて企業の規模や日本的な下請け扱いの商習慣から見ても一般的に弱い立場にあると考えられ、メーカー側が製品の擦り合わせ型の部分を担当しベンダー側には組み合わせ型の製品を担当させることで、力関係で劣るベンダー側の意味的価値を低下させ、メーカー側の付加価値を最大化するように意味的価値を集中させる状況におかれていたと考えられる。

本論文ではこれまでの議論を踏まえ、補完業者が優位性を構築するための戦略の一つについて検討するため、擦り合わせ型の半導体産業において装置ベンダーがデバイスメーカーに対して比較優位になった1990年から現在までの日本の例をケーススタディとして取り上げ、装置ベンダーがデバイスメーカーにどのような意味的価値を提供して優位性を構築したかを、新聞や雑誌などの2次資料をもとに考察する。

3 事例研究

3.1 半導体デバイスの製造プロセスについて

まず初めに半導体産業における製造装置の役割を理解するためにその製造プロセスについて簡単にふれる（図4）。半導体デバイスは高純度のケイ素を溶解させ単結晶のシリコンインゴット（塊）を作るところから始まる（図4-1）。このインゴットを薄く切断し表面を研磨したものが半導体デバイスの基板であるシリコンウェハーとなる。この分野は信越半導体やSUMCO（旧三菱住友シリコン）など日本企業が強く、最先端の300mmシリコンウェハーにおいて約60%の世界シェアを持っている（各社アニュアルレポート、2013）。次の工程がデバイスメーカーのクリーンルームでこのシリコンウェハー上に設計データの電気回路パターンを形成し集積回路

（Integrated Circuit、IC）として動作するように加工する前工程と呼ばれるウェハー処理工程で、本論文で議論する対象である（図4-2）。前工程でできあがった半導体ウェハーを切断してプリント基板などに実装できるように加工するプロセスが後工程と呼ばれる組み立て工程になる（図4-3）。

前工程ではまず初めに電氣的回路のもととなる酸化膜や金属膜などの薄膜を高温の拡散炉や化学的な気相成長を利用して形成する。次がフォトレジストと呼ばれる感光材をウェハーに塗布してマスクと呼ばれる写真原版の回路パターンをウェハー上に転写するパターンニング（塗布および現像）工程である。パターンニング工程の後、レジストパターン通りに薄膜を液体や化学的を利用して除去するエッチング工程や、電気回路に必要なボロンやリンなどの不純物を非常に高速でウェハーへ注入するイオン注入工程を通して電氣的な回路を形成する。これらの薄膜形成からパターンニング、エッチング、拡散工程を数十回繰り返すことで複雑な電気回路を積み重ね、最終的にウェハー上に多数の集積回路が形成された半導体デバイスが完成する。最新のデバイスではこれらの工程数は数百にもものぼり、デバイスの要求仕様を満たすために前後の工程のプロセス条件を合わせ込む必要があるなど密接に関係しており、その意味では擦り合わせ型の製品であるといえる。

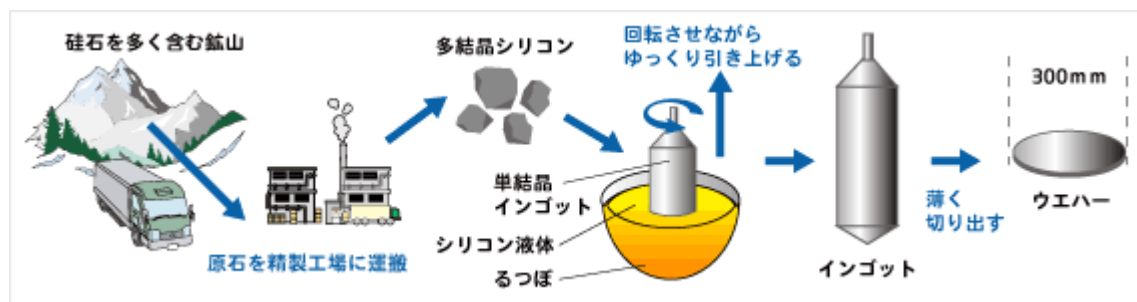
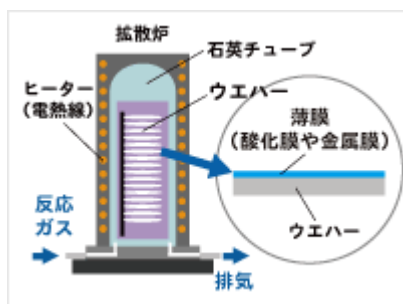
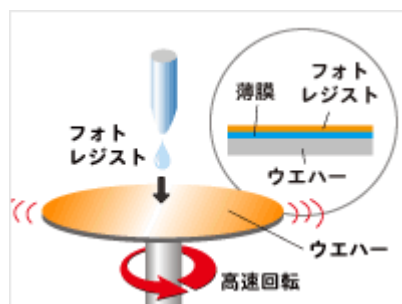


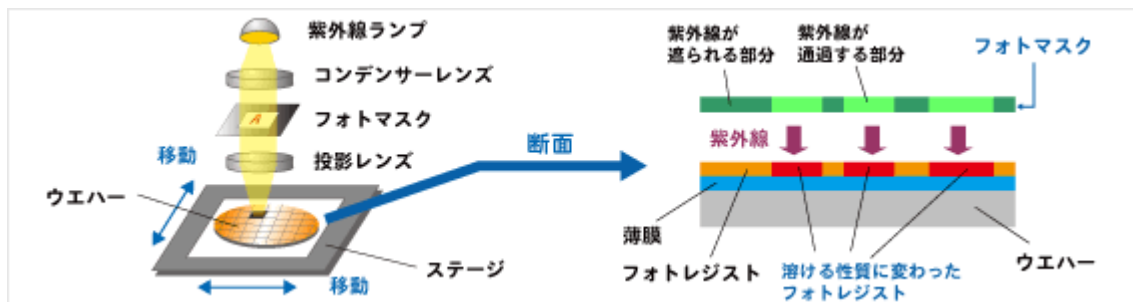
図4-1：シリコン結晶



薄膜形成



レジスト塗布



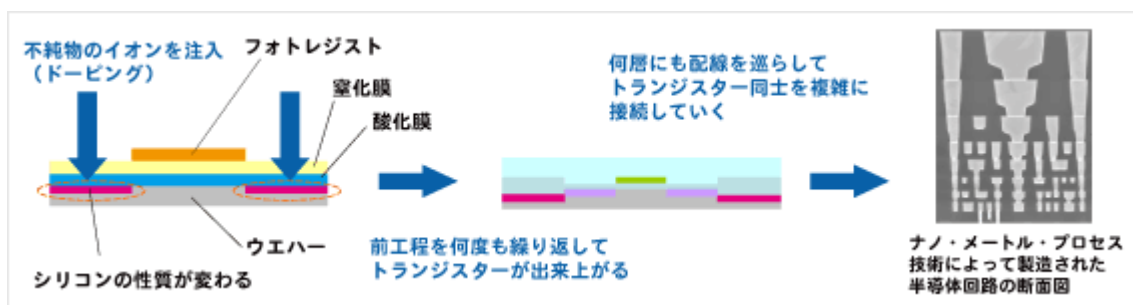
露光



現像

エッチング

レジスト除去



イオン注入

図 4-2 : 前工程 (ウェハー処理工程)

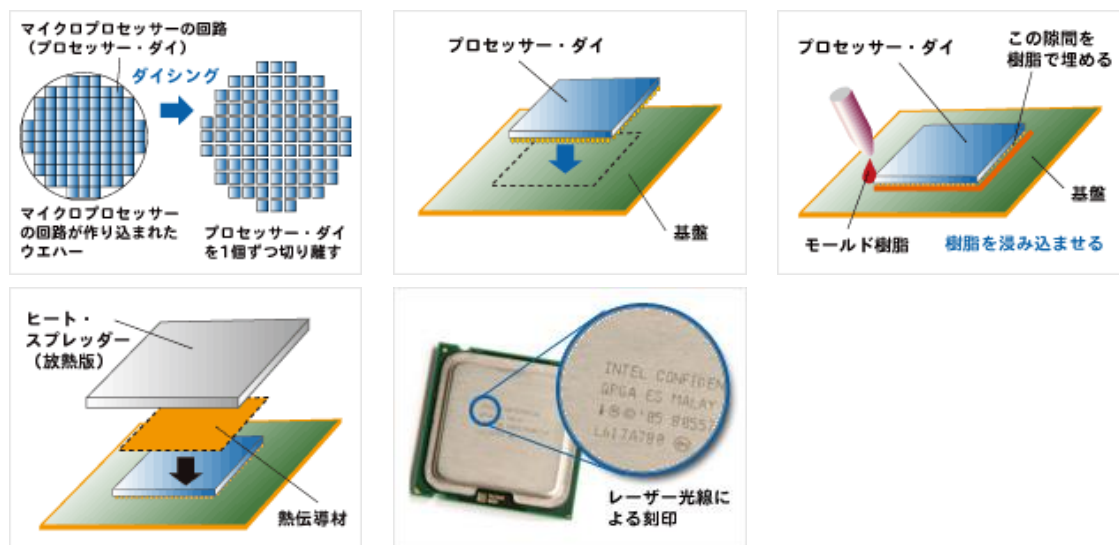


図4-3：後工程（組み立て工程）

図4：半導体デバイスの製造工程

（出典：インテル・ミュージアム HP）

<http://japan.intel.com/contents/museum/chips/index.html>（2014/12/19 閲覧）

3.2 日本の半導体産業の歴史

ここでは当時日本の半導体産業がおかれていた状況を理解するためにその歴史を簡単に振り返る。1959 年米国テキサス・インスツルメンツ社（TI）のジャック・キルビーが集積回路（Integrated Circuit、IC）を発表し、その後米国フェアチャイルド半導体社のロバート・ノイスがシリコンプレーナー技術を使用した IC 製品を発表したことから米国の半導体の歴史が本格化した。その後ノイスは米国インテル社を創業し 1970 年 10 月に世界初の 1K bit DRAM（Dynamic Random Access Memory）のメモリー製品を完成させる。この DRAM 製品は 1972 年に世界一の売上高を誇る半導体となり、1974 年にはインテル社の 4K bit DRAM のマーケットシェアは 83%を占めるなど DRAM 製品はインテル社の中核事業を担ったが、その後日本電気（NEC）や東芝などの競合各社が DRAM 事業へ参入し、その競争力を失ったインテル社はやがてマイクロプロセッサ製品（Micro Processor Unit、MPU）へ主力事業を移行していくこととなった。

日本は米国に追いつくべく、1975 年工業技術院電子技術総合研究所に超 LSI 技術研究組合（超 L 研）を発足し、5 年以内に最先端製造プロセスの開発、微細化露光装置の開発、1 μm プロセス、1 MDRAM の試作を達成目標とした²。超 L 研には当時の半導体大手メーカーの NEC、東芝、日立、三菱、富士通が参加し、微細化露光装置の開発にはニコンとキャノンの半導体装置ベンダーも参加して製品開発を担当した。特に関心が高かったのが製造技術で中でも微細加工技術で、DRAM の集積度を向上するために重要な工程であることから注目が集まった。これらの努力の結果、1981 年

² 「製造技術に貢献した超エル・エス・アイ技術研究組合」『日経マイクロデバイス』1997 年 12 月号、PP100

には日本が 64KDRAM で世界シェア No.1 となり、1986 年には世界半導体市場における日本半導体のシェアが米国を抜き世界 No.1 へと成長し、「半導体は産業のコメ」と呼ばれるほどまでになっていた（図 5）。

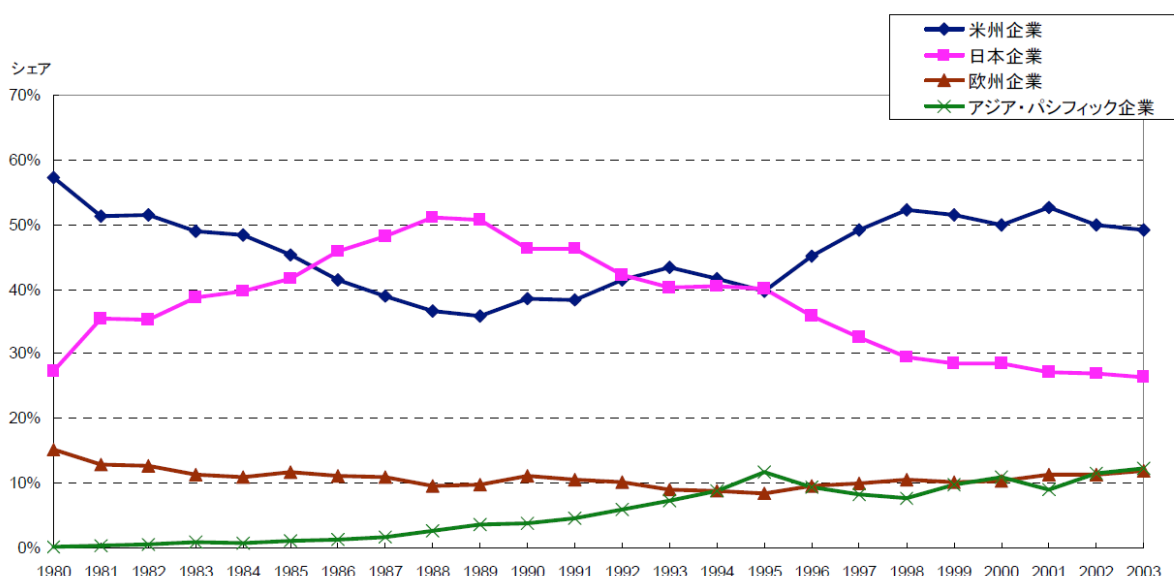


図 5：世界市場における日本の半導体シェア推移

（出典：NEDO 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合研究機構 HP）

<http://www.nedo.go.jp/content/100085014.pdf>（2014/12/20 閲覧）

3.3 デバイスメーカーの取り組み

しかしながら当時の半導体産業は「農業」といわれるほど製造工程が不安定で、実際に作ってみたいといくつ製品（半導体デバイス）が取れるか分からない状況であった。このため通常の工業製品であれば「不良率」という言葉で工程の安定性を評価するが、半導体デバイスの場合には「歩留まり」という言葉を使い、本来何個できるはずの製品（理論取れ数）のうち実際に正常に所定の性能の通り動作した製品（良品数）が何個あったかの割合によって工程の管理を行っていた。新しいデバイスの立ち上げ時などは歩留まりが 0% のこともあり、デバイス本体の回路設計も含めて動作不良の原因を追究し、改善することが重要な業務となっていた。

$$\text{歩留まり (\%)} = \text{良品数} \div \text{理論取れ数}$$

製造工程において歩留まりを低下させている要因の一つがパーティクルと呼ばれる空気中のゴミであった。通常クリーンルームは清浄度によってクラスに分けられておりパーティクルの管理がされているが、オペレーターや装置本体からの発塵が回路パターンをショートさせたり、金属汚染を原因とした電気回路の動作異常の影響を受けたりしての歩留まり低下が問題となっていた。このため半導体用のクリーンルームには清浄度のクラスで 1～100 という医療や食品分野と比較しても大変厳しい清浄度が要求されていた（図 6）。またもう一つの要因は半導体デバイスを作成するために求

められる回路パターンのサイズ（幅）や膜厚などのプロセス要求に対して製造装置の性能が充分に対応しておらず、そのばらつきが大きくデバイス性能の仕様を満たさないことを原因とする歩留まり低下であった。このためこの時代のデバイスメーカーはクリーンルーム内でのウェハの自動化搬送を推進することでオペレーターからの発塵の影響を低減したり、工程内や工程間でプロセス条件の合わせ込みをしたりするなど、各社ごとに工夫をこらした歩留まり改善のための努力を行ってきた。



図6：半導体製造クリーンルームにおいて要求される清浄度

（出典：あすみ技研社）<http://www.tech-cleanroom.com/about/clean/>
（2015/1/2 閲覧）

半導体製造に必要なクリーンルームで求められる4原則は「ごみを発生させない」「ごみを持ち込まない」「ごみをためない」「速やかに除去する」である。このうちの「ごみをためない」と「速やかに除去する」はクリーンルームの設計によるところが大きい、「ごみを持ち込まない」現場レベルでの改善が可能な内容である。たとえばパーティクルに関して、三菱電機ではデバイスに悪影響を与え歩留まりを低下させるクリーンルームでの発塵（ごみ）の原因を特定するために解析の専門チームを作った。この女性エンジニア9人からなるチームはCATS（Clean Analysis Team for Semiconductor）と名付けられ、担当ごとに「空調」「純水管理」「装置の清浄度」などテーマを決め、3か月間の集中的な研究ののち各配属先である半導体工場へ異動となった。たとえば化粧品店で売っている主な基礎化粧品を全種類買ってきて、現場のオペレーターにも協力を仰ぎ、実際に使用してもらった時の「しっとり具合」や「のび」などの評価を行った。さらに化粧品で使用している材料と塗布後に出てくる微粒子を30分おきに測定しその数値を記録するなど約1か月間にわたる評価を続け、クリーンルームでも使用できる化粧品を選定した。これらのCATSによる解析の結果、クリーンルームで使用する手袋の種類を規定し発塵量を低減したり、オペレーターが作業開始前に入浴することで体に付着している塩分を取り除きデバイスの汚染による歩留まり低下を防いでいたりなどの取り組みを行っている。また他のデバイスメーカーでもクリーンルームへの入室前にシャワーを浴びる、無塵服の下に発塵しにくい中間衣を着るなど、オペレーターからの発塵を押さえるための対策を取っている。

さらにウェハー搬送の自動化を積極的に進め、オペレーターの介在を極力減らすことで人からの発塵による影響を抑えようとした。1989年時点では各デバイスメーカーともウェハー搬送の自動化を実現しているが、ウェハーの受け渡し方法など製造ラインの工程フローや装置レイアウト等に合わせた最適化を図ることで、各社独自のノウハウを適用していたものと考えられる（表1、図7）。

表1：各社の代表的なラインのウェハー搬送の自動化状況

社名		日本電気	東芝	日立製作所	三菱電機	富士通	シャープ
工場／子会社		九州日本電気	大分工場	那珂工場	高知工場	岩手工場	福山工場
ライン名		第7拡散ライン	ステップ3	N1-1	TA-1Fライン	4番館	第2工場
自動化方法	工程間	床上搬送車 リニア・モーターカー	DCモーターカー	ロボット	床上搬送車 リニア・モーターカー	リニア・モーターカー	リニア・モーターカー
	工程内	床上搬送車 リニア・モーターカー 人間	人間	人間 移載ロボット	軌道付き搬送ロボット	リニア・モーターカー 床上搬送車	軌道付き搬送ロボット

（出典：日経マイクロデバイス 1989年11月号をもとに筆者作成）



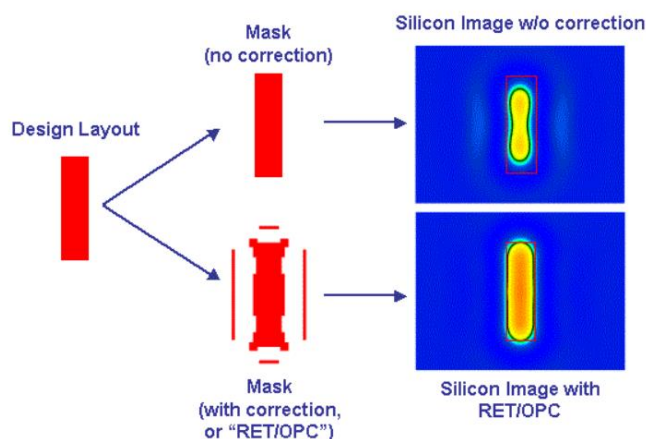
図7：搬送を自動化したラインの事例

（出典：日立製作所那珂工場、現ルネサスセミコンダクタ HP）

<http://www.rsmc.renesas.com/business/>（2015/1/2 閲覧）

製造装置に関しても装置ベンダーから購入した装置を使いこなすためにデバイスメーカー各社はいろいろな工夫をして歩留まりの改善を行ってきた。たとえば露光工程においては回路パターンを何層にも積み重ねて電気回路を作るために、前に作りこんだ工程の回路パターンとこれから作る工程の回路パターンの位置合わせ（アライメント）精度を小さくすることが重要である。しかしながら当時の露光機では工程が進んで何層もの薄膜が積み重なってくると前の回路パターンが不鮮明になり、画像処理による十分な位置合わせ精度が得られなくなることがあった。このためあるデバイスメーカーでは位置合わせ精度のばらつきを抑えるために露光機を位置合わせの癖ごとにグルーピングし、それぞれのグループ内だけですべての工程を処理することで位置合わせ精度を向上するような作業を行っていた。また酸化膜や金属膜の薄膜を形成する工程ではウェハー面内の膜厚均一性がウェハー中心と外周で異なることがあり、この

傾向はウェハーサイズが大きくなるほど顕著となった。このためその後のエッチング工程では無理に面内均一性を求めず薄膜形成工程と同じ傾向になるような面内でのエッチング速度の差を利用して最終的なデバイスの加工形状の面内均一性が高くなるように工程を作りこんでいた。このような擦り合わせは製造プロセス内にとどまらず、設計まで及ぶことがあった。たとえば露光工程においては解像限界に近い領域でレジストパターンの形状を改善するために、フォトマスクに解像限界以下の微小パターンを配置し、パターン形状の最適化を行っている。これは通常のマスキングパターンで光の回折によりレジストパターンの角が丸くなることを解消し、実際の設計データに少しでも近づけることを目的として採用され、この手法は OPC（Optical Proximity Correction、近接効果補正）とよばれている（図 8）。OPC の効果は露光シミュレーターソフトウェアによってある程度の最適化が可能であるが、実際には使用しているレジストや露光条件によってその結果が変動するため、製品ウェハーにおいてレジストパターンの形成を行い、その結果をもとにマスクの設計データにフィードバックをかけるなど、工程間の綿密な擦り合わせがなければ実現しえない技術であった。これらはすべて製造装置の性能限界を超えたレベルでの調整や合わせ込みであり、歩留まりを改善するためにデバイスメーカーが独自の取り組みを行ってきたことが分かる例となっている。



/ Slide 16



図 8 : OPC を利用したマスク

（出典：オランダ ASML 社 2007 Technology Conference London 資料）

この時代の装置ベンダーが提供していた製造装置は納入後に立ち上げ動作確認とオペレーショントレーニングが終了すると基本的にデバイスメーカーへ引き渡され、その後の詳細な条件出しや工程間の擦り合わせは装置ベンダーには求められなかった。このことから 1990 年以前の製造装置は単なるハードウェアを提供するだけの組み合わせ型の製品であったといえる。デバイスメーカーはその後の自社による条件出しや工程内や工程間の合わせ込みの努力を通して、実際の製造工程へ落とし込んでいた。このようにデバイスメーカーは各社独自のノウハウによる工程の安定化や歩留まり向上を図っており、このノウハウの部分での差別化が競争優位につながっていた

め、その歩留まりの数値を含めた製造ラインに関する情報は基本的にすべて社外秘となっていた。たとえばデバイスメーカーは半導体デバイス自体の生産数量は公開していたが、チップサイズによる理論取れ数と生産量から歩留まりを推測されてしまうことを懸念して各半導体工場での処理（投入）ウェハー数量は公開していない場合がほとんどであった。また装置ベンダーのサービスエンジニアが修理でデバイスメーカーのクリーンルームに入室する際には、自社以外の装置にはパーテーションと呼ばれる仕切りを設置し、他にどのような装置が導入されているかわからないような努力をしていたり、装置ベンダーの営業が工場の周りを歩き回られるとクリーンルームの大きさが推察され、そこからおよそその生産量と必要な装置台数が計算できてしまうため、基本的に営業は入口の商談室しか入れなかったりなど、デバイスメーカーは自社の製造ラインに関する情報を競合他社に対する重要な差別化要因として扱っており、機密保持のために最大限の努力をしていたことがうかがえる。

このように製造工程のノウハウが各社独自のもので、製造装置の性能がデバイス要求に対して十分に満たしていなかったことは、デバイスメーカー大手の日立や東芝にとって半導体製造装置の自社開発（内製）を加速する理由ともなった。デバイスメーカーにとっては製造装置の内製を通してプロセス開発の効率化のために装置の早期入手し、デバイス性能の向上および早期量産をすることで自社デバイスの差別化を図るモチベーションともなった。また製造装置を内製することでプロセスやデバイスに関する情報が装置ベンダーを経由して外部に流出することを防ぎ、競合のデバイスメーカーに対しての優位性を保つことにもつながり、デバイスメーカー各社が製造装置の内製を重要視する要因ともなった。特に次世代デバイスのプロセス開発で鍵を握られると思われる工程の装置に関しては、総合電機メーカーならではの幅広い資源を活用し関連会社なども使って重点的に内製を進めていた。

たとえば日立では薄膜形成のための拡散炉や CVD（Chemical Vapor Deposition、化学気相成長による薄膜形成）を子会社である国際電気（現日立国際電気）で、i 線（露光波長 365nm）ステッパ（Stepper、ステージを動かしながらステップ&リピート法でウェハーを露光するためこう呼ばれる）露光装置を日立那珂工場で内製した。この i 線ステッパは従来の g 線（露光波長 436nm）ステッパに比べて露光波長が短い分パターン解像度が改善され焦点深度が深くなるため、微細化が進むことによって回路パターンの段差が大きくなるデバイス製造に有利な露光装置を競合他社より早く入手できるという利点を生み出した。松下は RIE（Reactive Ion Etching、反応性イオン）エッチング装置を松下電器生産技術研究所で内製することで、各社で異なる反応性ガスの条件を使用するなどプロセス依存度が高いエッチング工程における内製化の利点を活かそうとした。また世代ごとに主流になる装置ベンダーが変わりそのたびに自動化をやり直さなければならないエッチング工程に継続性を持たせようとする目的もあった。東芝は電子ビーム（Electron Beam、EB）マスク描画装置を東芝機械で、RIE エッチング装置を徳田製作所において自社開発し、位相シフトマスク³ 製作など

³位相シフトマスク(Phase-Shifting Mask : PSM)とは、光の位相や透過率を制御する事で、ウェハーへの露光時の解像度や焦点深度(DOF : Depth of Focus)を改善し、転写特性を向上させたフォトマスクで、露光波長以下のリソグラフィーでは標準的に使用されている

の CAD（Computer Aided Design、コンピュータによる設計支援）を含めた総合技術力が求められる最先端マスクの開発に取り組み、微細化を進めようとした。日本電気では ECR（Electron Cyclotron Resonance、電子サイクロン共鳴）エッチング装置を日電アネルバで自社開発することで、無加熱による高品質の薄膜形成に取り組んだ（表 2）。

表 2：主な内製の半導体製造装置

プロセス	装置	社名	設計・開発担当	装置化担当
薄膜形成	縦型拡散炉／CVD	日立	半導体設計開発センター デバイス開発センター	国際電気
	CVD	三菱	中央研究所 生産技術研究所	三菱福岡製作所
	CVD	松下	半導体研究センター 京都研究所	松下電器生産技術研究所
パターニング	i線ステツパ	日立	中央研究所 生産技術研究所	日立那珂工場
	EBマスク描画装置	東芝	ULSI研究所	東芝機械
エッチング	RIE	東芝	ULSI研究所	徳田製作所
	RIE	松下	京都研究所	松下電器生産技術研究所
	ECR	日本電気	超LS開発本部	日電アネルバ

（出典：日経マイクロデバイス 1990 年 10 月号をもとに筆者作成）

このように装置の内製を進めた理由には、情報開示に制限が少ない社内組織で装置を開発製造した方が製造プロセスへの理解がより深くなり、装置ベンダーに任せただけの場合に懸念される各デバイスメーカーが独自で工夫している歩留まり向上のために情報の流出を防止できることが理由に挙げられる。また前後の工程との合わせ込が求められる半導体製造装置は社内で統合することにより調整がとりやすく、プロセス開発の効率化と装置の早期入手による競合他社に先駆けたデバイス開発および販売を実現することで、先行者優位による差別化が可能なことも理由に挙げられるであろう。また装置価格に関しては装置ベンダーの営業として勤務していた経験から内製の装置の方が外販されている装置より価格的に高いことは無く、差があったとしても最低限同じ程度まで下げてくることがほとんどであった。特に外資系の装置ベンダーは装置本体価格に日本でのサポート費用が含まれるため内製の装置より高いことが多かった。機能や性能に関しても標準で開示されている仕様に差はほとんどないが、デバイスメーカー別の特別仕様（機能や製品ウェハーでの評価・保障、ソフトウェアのカスタマイズ、安全対策など）が多く含まれており、その部分で差が出ていた可能性はある。ただしこの場合でも内製の装置の方がこれらの顧客要求を受け入れる場合が多いく、顧客からの要求仕様をもとに装置を開発製造していることもあり、外部の装置ベンダーはできるだけ標準化した製品を提供しようとしていたことを考慮しても、顧客の製造プロセスに対する要求を忠実に対応していたのは内製装置であると考えられる。さらに信頼関係の構築やサービスの対応などをとっても同じ社内であることの優位性を持つと考えられ、デバイスメーカーが外部の装置ベンダーから製造装置を購入するより

る技術（出典：凸版印刷）

http://www.toppan.co.jp/material/semicon/photo_mask/lineup/semicon/
（2014/12/29 閲覧）

も自社にて内製する戦略をとったことも理解できる。このように各デバイスメーカーは今までに蓄積した製造工程のノウハウをもとに現状の装置性能を改善して、高性能で安定した工程による高歩留まりのデバイス開発を目的とした製造装置の自社開発を進めていった。

3.4 装置ベンダーの戦略

これまで装置メーカーが製造装置を提供する場合の競合他社に対する差別化は、その仕様・性能はもちろんのこと価格や納期であったり、納入後のサービスサポートの迅速さであったり、機能的価値が主であったと考えられる。このため装置ベンダーは各デバイスメーカーの製造拠点（工場）の近くにサービスセンターを設置する、などサポート対応の速さを差別化要因として、大規模工場向けには3交代勤務での稼働に合わせて24時間のサービス体制を構築するなどしていた。またデバイスメーカーが自社で装置の内製を始める以前から製造装置の性能改善に対する要求は装置ベンダーにも来ており、特に日本のデバイスメーカーは各社独自のノウハウにこだわり、それらが活かせるプロセスを構築するため装置ベンダーはいろいろな設計変更の要求にも対応してきた。しかしながら実際の製品ウェハーに適したプロセス設定や装置間でのマッチング、各社独自の安全仕様などはデバイスメーカーごとの特別仕様になるため、装置のソフトウェア変更や立ち上げにかかる期間の長期化などの原因となっていた。装置ベンダーはこれらの要求にこたえることでデバイスメーカーにとって最適な生産プロセスの構築に貢献してきたが、この対応のためにかかるコストと時間はデバイスメーカーと装置ベンダーの両社にとって大きな負担となっていたことも事実であった。

このため装置ベンダーは新たな付加価値の提供として、従来の販売後の条件出しを基本的にデバイスメーカーに任せる方式から、個別プロセスの条件出しまでを請け負うレシピ付き装置の販売に移行していった。これは競合する装置ベンダーに対する差別化にもなり、実際の顧客ウェハーにおいてプロセス評価を行うことができる体制を整えることで自社製品の付加価値を向上することが可能となった。たとえば東京エレクトロンは1993年にデバイスメーカーとの技術的な交流を深めて自社技術の有効活用を目指し、評価分析装置をそろえたプロセス・テクノロジー・センターを設置している。ここでは自社で持っている製造装置などで作成した薄膜の膜厚や面内均一性、電気的な抵抗を測定することでプロセスの性能評価を行い、デバイスメーカーが要求するデバイスの仕様に合わせるためにどのようなプロセス条件で処理すればよいかの確認を行っていた。デバイスメーカーはここで実際の製造に必要なプロセス条件を確立した後、自社へ戻れば装置導入後、個別プロセスの立ち上げを短期間で行うことができるようになるという価値を見出した。また装置ベンダーは通常の立ち上げであるサービスサポートを超えたアプリケーションサポート部隊を設置し、積極的に自社のエンジニアをデバイスメーカーの現場に送り込むことで、実際の使用状況や問題点を把握し、適切な提案やソリューションを提供できる組織づくりを整えていった。これは装置導入後に実際のデバイスメーカーの製造現場であるクリーンルーム内でデバイスメーカーのエンジニアと一緒にプロセスの条件出しや最適化、あるいは評価方法

の検証を行うアプリケーションサポートを装置の付加価値として提供することで製造装置の価値を向上するとともに、各社デバイスメーカーでの使用方法を理解することに役立ったと考えられる。これらのサポートは自社装置が担当している個別プロセスに範囲が限定されるが、他のデバイスメーカーでの経験やノウハウを装置ベンダーが提供することで最適化にかかる時間を短縮し、問題が発生した場合の解決方法の提案などを意味的価値としてデバイスメーカーに提供することにもなった。

さらに装置ベンダーはさらなる付加価値を提供する方法として、自社にてソリューションを提供する方式へと戦略を転換していく。具体的には顧客に対するプロセスモジュールというある工程全般にわたるプロセス開発をソリューションとして提供し、装置性能以外での付加価値を創造するためにデバイスメーカーのプロセスの改善や改良をするための取り組みを装置ベンダーは進めていった⁴⁵⁶⁷⁸。たとえばアプライドマテリアルズでは競合他社に先駆けてキャノン製の露光機や米 FSI International Inc.社製の塗布・現像装置までを準備したテクノロジー・センターと呼ばれるクリーンルームを設置し、個別プロセスだけではなく前後のプロセスまでも含んだプロセスモジュールをソリューションとしてデバイスメーカーへ提供する流れを作った。ここでは試作ラインを持たないデバイスメーカーでも短期間に量産工場を建設できるように支援する疑似工場環境を実現している。また東京エレクトロンではプロセス・テクノロジー・センターの新棟においてすでに導入済みだったトランジスタ形成工程のための製造・検査装置に加え、2002 年から配線工程のための製造装置も導入している。具体的にはエッチング装置に拡散炉に加えメタル CVD 装置や洗浄装置、KrF エキシマレーザー⁹露光装置をそろえ、テスト・デバイスの電気特性評価、装置間や工程間を含めたプロセス評価、製造装置のクリーン度評価などを実施できる体制を整えている（図 9）。

4 「1994 年を読む 装置ベンダー戦略」『日経マイクロデバイス』1994 年 1 月号、PP65-69

5 「レシピ付き製造装置の販売からモジュール・プロセスの提供へ」『日経マイクロデバイス』1999 年 5 月号、PP64-69

6 「ナンバー・ワン戦略 体力強みに攻める 単体の装置から生産システムへ脱皮」『日経マイクロデバイス』2000 年 9 月号、PP134-141

7 「300mm 量産ラインの疑似環境を実現できるテクノロジー・センター」『日経マイクロデバイス』2002 年 5 月号、PP127-128

8 「装置各社が開発拠点拡充 プロセス全体をサポート」『日経マイクロデバイス』2002 年 9 月号、PP64-70

9 g 線（436nm）や i 線（365nm）よりさらに短波長の KrF エキシマレーザー（248nm）を使用し、パターン解像度の向上と焦点深度の改善を目指している。（筆者注）



図 9 : 装置ベンダーのプロセス開発センター

(出典 : Applied Materials HP)
<http://www.appliedmaterials.com/company/about/maydan-technology-center>
 (2015/1/2 閲覧)



(出典 : 東京エレクトロン HP)
http://www.tel.co.jp/news/2012/0315_001.htm
 (2014/12/20 閲覧)

発塵に関しては米国アシスト (Asyst) 社が SMIF (Standard Mechanical Interface) や FOUP (Front Open Unified Pod) と呼ばれるウェハーを収納する密閉型ボックスを開発し、従来のオープンカセットに比べてオペレーターやクリーンルーム自体からの発塵による影響を最小限に抑えることを可能とした (図 10)。



図 10 : オープンカセット (左) と FOUP (右) (出典 : インテグリス社 HP)

http://www.entegris.com/nihon/ProductDivisionCatalog_divWafer.aspx
 (2014/12/24 閲覧)

このボックス内はクラス 1 の清浄度が保たれるため搬送中の発塵による歩留まり低下の影響をおさえ、クリーンルームも全体の清浄度を上げるのではなく、製造装置内部の清浄度を上げる局所クリーン化技術により製造プロセス全体の発塵管理が容易になった。当初日本のデバイスメーカーは各社独自の自動搬送システムを構築していたため、これらの密閉型ボックスの採用は欧米に比べて遅れていた¹⁰。たとえば 1999 年

¹⁰ 「LSI 生産技術力 過信し孤立する日本」『日経マイクロデバイス』1999 年 11 月号、PP11

までにこの局所クリーン化技術を採用していたのが世界で 67 工場あったのに対して日本では 5 工場と極端に少ないことからわかる。これは日本のデバイスメーカーが開発した生産技術が強すぎたため、逆に新しい生産技術に対する保守的な姿勢を生んだ可能性が挙げられる。しかしながら台湾 TSMC 社 (Taiwan Semiconductor Manufacturing Co., Ltd.) やシンガポールのチャータードセミコンダクター社

(Chartered Semiconductor Manufacturing, Ltd.) などのシリコンファウンドリ (半導体製造に特化した企業) は積極的に採用している¹¹。特に TSMC 社は局所クリーン化技術を導入するメリットとして①電気代低減、②オペレーターのクリーン装備を軽装にできる、③各装置が独立稼働できるため据え付け後すぐに使える、④装置に近づきやすい、⑤人が原因の汚染防止による歩留まり向上の 5 つを挙げており、クリーンルーム全体でのクリーン・エアの使用量が減らせるため密閉型ボックス導入による初期投資の増加分は 2 ～ 3 年で償却できるとしている。日本でもソニー・コンピュータエンタテインメント (SCE) の工場「Fab 1」が国内工場として初めてライン新設時に全面的にこの技術を採用し、ウェハの移動距離を削減できるような製造装置の配置の見直しと合わせて、ウェハの自動搬送を全面的に廃止した¹²。装置ベンダーもこの密閉型ボックスに対応したインターフェースを積極的に採用することで、クリーン度を保ったままクリーン・エアにかかる費用を低減し、製造装置間のインターフェースを標準化できる付加価値としてデバイスメーカーに提案できるようになった。

3.5 現在の装置ベンダーの役割

2014 年現在、東芝系のニューフレアテクノロジー (旧東芝機械) が電子ビームマスク描画装置を、芝浦メカトロニクス (旧徳田製作所) がエッチング装置を製造販売しているほか、キャノンアネルバ (旧日電アネルバ) がスパッタリング装置を製造販売している程度である。内製を続けていたメーカーも完全に外部の独立系企業に委託する形を取っており、デバイスメーカーは装置ベンダーからプロセスモジュールごと導入する方法が主流となった。最近のデバイスメーカーの注目はその回路設計やアプリケーション開発に向けられており、装置ベンダーがプロセスモジュールを提供するようになった時期とファウンダリービジネスが成長してきた時期が一致することからも、半導体産業の水平分業を促進する要因になったことも事実である。このように日本のデバイスメーカーが苦境に陥ったことも要因として大きいと思われるが、現在製造装置の内製は手掛けているデバイスメーカーはほぼ存在しない状況になっている。

¹¹ 「SMIF を全面的に採用した台湾の半導体工場」『日経マイクロデバイス』1991 年 8 月号、PP88-89

¹² 「プレステ 2 向け LSI 工場 DRAM 混載を安く速く」『日経マイクロデバイス』2000 年 5 月号、PP153-156

4. 考察

4.1 装置ベンダーが提供した意味的価値

ここでは装置ベンダーが単なる製造装置のハードウェアからレシピ付き装置、そしてプロセスモジュールで提供した意味的価値¹³を考察する（図11）。1990年代装置ベンダーにとってデバイスメーカーが装置を内製することは、自社の売上の減少だけではなく将来的なマーケットでの主導的な立場を失うという重要な問題であった。このため装置ベンダーは自社装置の価値を向上する手段の第一ステップとしてレシピ付き装置による個別プロセスの提供を開始した。デバイスメーカーは製造装置の内製を進めていたが、自社にとって差別化要因となるプロセスを中心に開発していたため、それ以外のプロセスによる差別化は難しいと考えていたデバイスメーカーによる受け入れは比較的早かったと思われる。またこれらのアプリケーションサポートは装置の付加価値として基本的に無償で提供されていたことも受け入れが進む要因になったと考えられる。このサポートではデバイスメーカーのプロセスエンジニアが重要な工程に開発に専念できるという意味的価値をもたらした。

続いて第二ステップとしてプロセスモジュールの提供を開始した。これは延岡（2011）が述べているように擦り合わせ型商品と意味的価値は相互依存的に共存する関係にあり、このプロセスモジュールという擦り合わせ型のソリューションを提供することで製造装置の意味的価値を創造しようとしたと考えられる。その理由としてはプロセスの複雑化に対応するための開発費の増大によって、デバイスメーカーごとに異なる仕様への対応など各デバイスメーカーの特別仕様に自社のリソースですべて応じることが困難になってきたことや、同じようにデバイスメーカーにおいてもプロセスやデバイスの高性能化により、自社ですべてのプロセスや工程開発をまかなうことが困難になってきたことが背景として挙げられる。

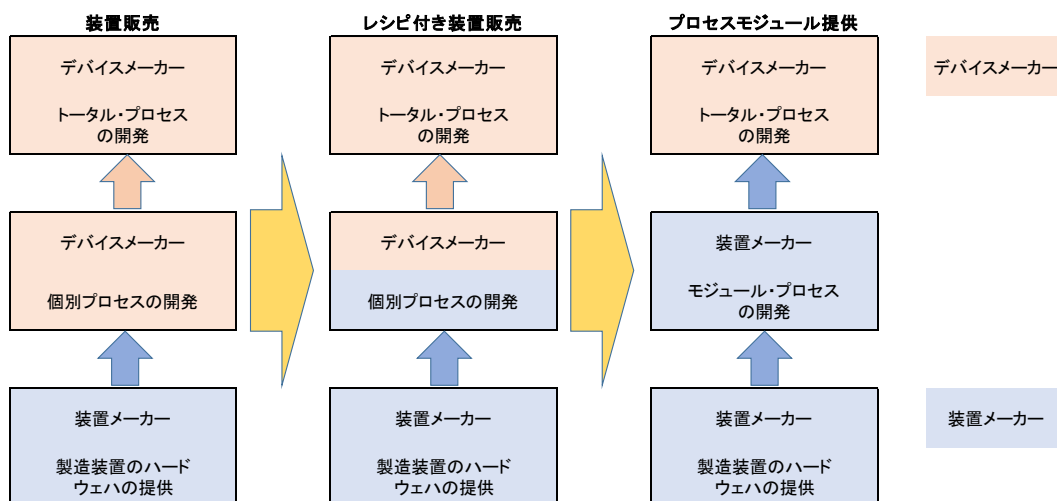


図11：装置ベンダーが提供したサポートの変遷

（出典：日経マイクロデバイス 1999年5月号をもとに筆者作成）

¹³ ここでは製品価値を含んでサービスなどで顧客に与える期待や信頼を意味的価値とする（長内、榊原、2012）

しかしながらプロセスモジュールを提供するために装置ベンダーが開設したプロセス開発センターは、自社だけではなく関連する前後の装置ベンダーの協力がなければ難しいことであった。この点各装置ベンダーも同じような課題を抱えていたため実現したものと考えられる。装置ベンダー同士の協力関係が強まった背景には個々のプロセスが高性能化し、単独の装置ベンダーでは開発のための技術者や1台に当たりかかる開発費を賄いきれなくなってきたことなど、1社で製造装置を開発する時代ではなくなったとの認識が高まったことも理由に挙げられる。同じような問題はデバイスメーカーでも起こっていた。DRAMからシステムLSIへの転換が迫られたことにより、プロセスやデバイス技術の多様化によってプロセスや工程開発に十分な手が回らなくなったという背景もあった。これはシステムLSIではプロセスやデバイス技術として準備しなければいけない項目が急激に増えたため、従来のロジックLSI向けプロセス・デバイス技術に加え、DRAMやフラッシュ・メモリー、アナログ用の回路などを同じデバイス内に混載する必要がでてきたためである。装置ベンダーにおいてもプロセスの複雑化に対応するための技術開発力の強化が急務となったため、自社以外の装置を購入しプロセスモジュール全体を検証するための体制を整えなければ競合企業に対して後れを取るという危機感もあったと考えられる。酒井（2014）はキャタピラーとコマツの競争の事例から、顧客による製品購入・製品の使用・製品の問題発生という時間の流れに着目して、より「上流」で対処するサービス能力が存在する場合に、「下流」のサービス能力は無効化されてしまうことを指摘している。本事例でも装置納入後のトラブル対応から個別レシピ付き装置の提供、プロセスモジュールの提供と顧客の時間の流れのより上流に対処するサービスを提供しているが、内製装置の持つ意味的価値であるサービス能力を無効化するのではなく、意味的価値を増大したとも考えられる。

またこのようなプロセスの複雑化に伴ってデバイスメーカーの設備投資額が増加し、装置価格自体だけではなくその生産性や稼働率、ランニングコストまでも考慮した装置選定が求められるようになったことも装置ベンダーの戦略を後押しした要因として挙げられる。このような生産性の向上が求められる中、COO（Cost of Ownership）¹⁴というコスト面に注目した生産指標が米SEMATECH¹⁵で標準化されたこともあり、製造装置の持つ役割がより重要になったとの認識が広がったことで、デバイスメーカーとの協力関係を強化する動きも高まってきた。これまではデバイスメーカーにとって多少コストが高い個別仕様の製造装置であっても自社のプロセスを活かせる装置であれば、デバイス性能や歩留まりでの優位性を示すことにより競合に対

¹⁴ LSI量産ラインにおける工程や製造装置の生産性を示す指標の一つ。LSIラインの投資効率や製造装置の選択の際に判断基準として使われる。1980年代に米Intel Corp.が考案し、SEMATECHが標準化した。（出典：日経テクノロジーオンライン）
<http://techon.nikkeibp.co.jp/article/WORD/20070316/128991/>（2014/12/29閲覧）

¹⁵ Semiconductor Manufacturing Technology consortium、1987年に始まった米政府と米半導体メーカーによる半導体製造技術開発プロジェクト、製造装置そのものや装置間のインターフェースを極力標準化し、コスト削減と装置開発速度の向上に貢献した。（出典：SEMATECH HP）
<http://public.sematech.org/>（2014/12/29閲覧）

しての差別化が可能であった。しかしながら競合他社の追い上げが急になってきたことなどによる半導体デバイスの価格低下が大きい場合にはこのような差別化が困難となり、製造装置自体のコスト面に関しても重要な原因となったことが考えられる。

さらに半導体業界の大きな流れとして企業間で協力するコンソーシアムが多く設立されたことも要因として挙げられる。前例の SEMATECH は米国主導のコンソーシアムであるが、日本でもデバイスメーカーの競争力を回復させるために、政府主導でいくつかのコンソーシアムが設立された（表3）。それぞれのコンソーシアムの目的は異なるが、今まで各社独立し競合状態に置かれていたデバイスメーカーや装置ベンダーが一堂に会して次世代プロセス開発や標準化技術を協議する環境が整ったことで、デバイスメーカーや装置ベンダーの間で協力関係を結ぶことの障壁が下がったと思われる。

表3：日本のコンソーシアム一覧

設立年	コンソーシアムプロジェクト	目的(設立当初)
1994	半導体産業研究所(SIRIJ)	半導体産業の産官学連携の場および半導体産業界のシンクタンク
1995	－半導体理工学研究センター(STARC)	半導体設計関連技術力および開発力の向上
1996	－半導体先端テクノロジーズ(Selete)	300mmウェハプロセス用製造装置および材料評価
2000	半導体あすかプロジェクト	半導体設計及びプロセスの共通基盤構築
2001	－次世代半導体材料・プロセス基盤(Mirai) －高効串次世代半導体製造システム技術開発(HALCA)	半導体の微細化・集積化に対応した半導体デバイス・プロセス基盤技術の開発 省エネ効果の高い次世代半導体製造システムの開発
2002	－先端SoC基盤技術開発(ASPLA) －極端紫外線露光システム技術開発機構(EUVA)	システムLSI開発の設計環境整備および開発プラットフォームの構築 EUV光源と露光装置の開発
2003	－次世代半導体材料技術研究組合(CASMAT)	次世代半導体材料の開発

(出典：各コンソーシアム資料および武田計測先端知財団 HP より筆者作成)

<http://www.takeda-foundation.jp/reports/> (2015/1/5 閲覧)

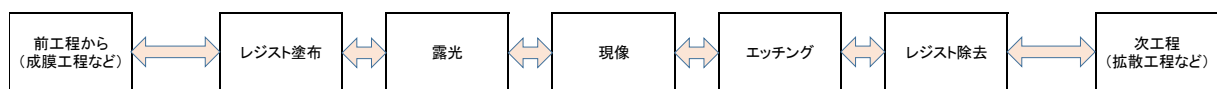
同じような状況が搬送系の自動化でも起こっている。1990年代までに密閉型ボックスという優秀なソリューションが開発されていたにもかかわらず、自社で搬送系の自動化を進めていたデバイスメーカーにおける採用はなかなか進まなかった。しかしながら密閉型ボックスを採用した工場では当初から高い歩留まりが見られたことや、装置のインターフェースを統一することで装置ベンダーに対する特別仕様を減らすことができる、自動化を開発するためのコストまでをまかなえなくなったことなどにより、日本のメーカーでも新規工場から順次密閉型ボックスを採用することとなった。現在ではほぼすべての半導体製造ラインのクリーンルームでこの方式が採用されている。

4.2 意味的価値創造の実行手段としての統合力

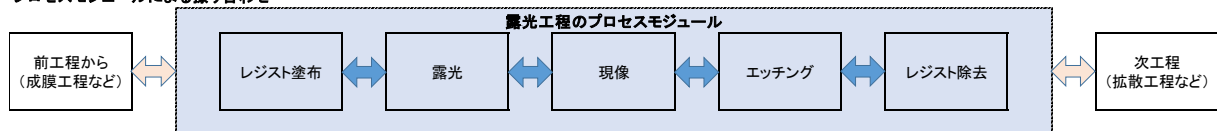
意味的価値創造という観点から見れば、当初装置ベンダーはデバイスメーカーにおける内製装置への対抗手段として、意味的価値を持つレシピ付き装置というソリューションを提供した。このレシピ付き装置は内製装置に対する差別化となったが、レシピの内容や求められるプロセス条件が理解されれば定量化されてしまう。定量化されればこのソリューションは機能的価値へと転化し、他社の装置でも提供できるものとなるため装置ベンダーの差別化要因とはなりにくい。そこで更なる意味的価値としてプ

ロセスモジュールによるソリューションとして提供したと考えられる。このソリューションはデバイスメーカーにとってプロセスモジュールの開発を外部に委託できるメリットだけではなく、工程内の擦り合わせを削減できるという利点もあった。図12は各ソリューションにおいて擦り合わせが求められる工程を示している。ピンクの矢印がデバイスメーカーによるもので青の矢印が装置ベンダーによるものであり、この例では露光工程をプロセスモジュールとして装置ベンダーが提供することで、デバイスメーカーが担当しなければならない擦り合わせが前後の工程間のみになることがわかる。このソリューションによりデバイスメーカーは全体プロセスの構築に専念することができた。

個別プロセスによる擦り合わせ



プロセスモジュールによる擦り合わせ



⇄ デバイスマーメーカーによる擦り合わせ

⇄ 装置ベンダーによる擦り合わせ

図12：プロセスモジュール（露光工程）による擦り合わせ

（出典：筆者作成）

アプライドマテリアルズが提供したソリューションのコンセプトは「リスクの回避」（同社 Director of Process Sequence Integration の Dennis Yost 氏）であると説明しており¹⁶、開発スピードの向上、開発投資の抑制および技術移転時間の短縮の3つに関してリスクを回避するという考えのもとに行われた。特に 300mm ウェハ対応の新工場を立ち上げる場合、デバイスメーカーは工場竣工や製造装置導入に先立って 300mm ウェハの効果を予測でき、工場の稼働開始までの期間を数週間もしくは数か月短縮することが可能であると考えられていた。これらのような期待や信頼、安心感なども十分な意味的価値としてデバイスメーカーに受け入れられたと思われる。このように擦り合わせ型のプロセスモジュールを固有の問題を解決する提案型商品として提供することで、延岡（2011）が示した生産財の意味的価値を創造できたのではないかと考えられる。この価値を創造するためには個別プロセスの統合が不可欠であった。特に半導体デバイスの場合、ウェハ投入からデバイスとして完成するまで通常1か月以上かかる。通常のデバイスでは工程中に TEG（Test Element Group）

¹⁶ 日経マイクロデバイス 1999 年 5 月号、PP64-69

とよばれる製品パターンに似た評価用素子パターンを用いて製造上の問題がないかの確認を行っているが、正確なプロセス評価は最終工程まで終了したのちの歩留りで判断される。このため新しい製造ラインの立ち上げ時には製造工程の実力（能力）を1が月後にしか確認できないため、実際に同条件プロセスによる工程確認がすでに終了しているプロセスモジュールの導入によってもたらされる意味的価値は、少しでも高い歩留りが見込めるという点で大きいと考えられる。デバイスメーカーは新しいプロセス技術を導入する際のリスク低減や、製造ラインの早期立ち上げ、プロセス性能の向上を図ることが可能になった。集中と選択が求められる中、他のプロセスまでも手を出すことには無駄に思えるが、プロセスモジュールの提供というソリューションにより顧客の信頼や安心を獲得した。この事例ではB to Bにおける意味的価値創造の実施手段としての統合力を活かすことができたと考える。

これまで生産財において意味的価値を顧客に提供するためには、自社製品に関して顧客企業の業務を顧客以上に理解することが求められるという議論があった。このため半導体製造装置産業のように技術進化が急速で顧客の半導体製造プロセスに関する情報開示が非常に少なく、デバイスメーカーと装置ベンダー間の人員に異動が起きにくい日本企業では、デバイスメーカーが自社で内製した方が製造プロセスへの理解が深まり、より意味的価値を提供しやすくなる。また半導体製造装置のような前後の工程での合わせ込みが求められる擦り合わせ型製品に関しては、社内で統合した方がその調整がとりやすいという議論もあった。しかしながら外部機関としての装置ベンダーは意味的価値を創造する手段として前後プロセスの統合能力を高め、プロセスモジュールとして提供した。このためデバイスメーカーは擦り合わせ型から組み合わせ型の製造に推移したため、意味的価値を提供した装置ベンダーがデバイスメーカーに対して比較優位になったと考えられる。

4.3 プラットフォーム・リーダーとしての装置ベンダー

装置ベンダーが提供したソリューションは、デバイスメーカーにおいて組み合わせ型製品として受け入れられたことに意味的価値をもたらしたと考えられる。たとえばウェハー中心と外周で膜付の均一性が出ずに中心部が厚くなっても、次工程のエッチングで同じように中心部のエッチング速度が速ければ仕上がりとしては問題ないなど、他の装置ベンダーと協力して前後のプロセスを取り込み標準化したパッケージとして提案することにより、プロセス内でのデバイスメーカーの擦り合わせが必要なくなる。装置ベンダーがプロセスモジュールを準備することで製造装置の性能やプロセス条件が変わったとしても、デバイスメーカーによるプロセス間の擦り合わせは最小限で済む。またインテルにおいてプロセッサが変わるたびに本体全体を設計しなおす必要がないようPCIバスを設計したように（Gawer & Cusumano, 2005）、装置ベンダーがプロセスモジュールを提供することで、デバイスメーカーはプロセス条件が変わっても工程全体を設計しなおす必要はなくなった。この意味で装置ベンダーは半導体製造工程でのプラットフォーム・リーダーとなったといえるのではないだろうか。同じように製造装置がアップグレードされるたびに自動搬送系を再設計する必要はなくなるという意味で密閉型ボックスもプラットフォーム・リーダーシップを取ったと

いえる。これは密閉型ボックスだけの努力ではなしえず、装置ベンダーの協力もあって初めて成功したといえる。装置ベンダーは統合力によってプロセスモジュールを構築しただけではなく密閉型ボックスも統合することで、ソリューションというソフトウェアと自動搬送系というハードウェアから創造される意味的価値によりより強固な競争優位を構築したとも考えられる。繰り返しになるが製造装置を内製化した方がデバイスメーカーにとって望ましい。しかしながら装置ベンダーが提供したプロセスモジュールは、新しいプロセス技術を導入する際に最も重要な問題となる歩留まり低下を最初から改善できるという期待や安心感を提供した。こうした期待や安心感が意味的価値であるといえる。

5. インプリケーションと今後の課題

本事例では技術の多様化によって開発まで手が回らなくなったデバイスメーカーからの要求と、製造装置の販売を超えて事業を拡大したい装置ベンダーとの思惑が一致したことが、プロセスモジュールの提供というソリューションの成功要因の一因であったとも考えられる。装置ベンダーがプロセスモジュールの生産性を保証することで、デバイスメーカーが全体プロセスの構築に専念できた。このような状況においては補完製品を提供している業者がコア製品の製造業者に対して擦り合わせ型のソリューションを提供することで付加価値を創造し、優位性を構築できることを検証した。藤本（2009）は擦り合わせ型な製品である自動車産業において、製品開発のパフォーマンスは全体的な統合の程度が重要な役割を果たすことを述べている。このような日本的型ものづくりには社内における部門間の調整が重要であるが、擦り合わせ型な製品の日本的なものづくりの外部組織による統合の可能性についても検討ができたと考える。

筆者が勤務する自動車産業においてもメーカーから製造装置ベンダーに対しての要求は多岐にわたる。たとえば溶接システムの場合、性能的に優秀なロボットや溶接ヘッドがあるにもかかわらず、その付加価値の大部分は自動車メーカーが獲得している。このように周りを見回してもすべての産業で本事例のような状況が起きるとは考えにくいため、補完製品を提供している業者が付加価値を創造できる外部環境条件に関しては検討が必要である。また自社製品の範囲を超えて提供するサービスやソリューションが創出する意味的価値と、そのために必要なコストとのトレードオフや、他企業と提携や協力することにより起こりうる情報漏えいなどのリスクに関しても重要な視点である。これらの解明に関しては今後の課題としたい。

謝辞

本論文を執筆するにあたり、支援いただいた数多くの方に感謝申し上げます。特にゼミナールの担当教官である早稲田大学ビジネススクールの長内准教授からは本論文のアイデアの着想からディスカッション、最終的な論文の執筆に至るまで、並々ならぬご指導をいただきました。吉川智教教授には授業等で自社の半導体装置のイノベーションに関して重要な示唆をいただきました。またともに切磋琢磨していくことで自分自身も成長することができた早稲田大学ビジネススクール長内ゼミナールのメンバーと、長い期間にわたり私のわがまを辛抱強く支えてくれた妻に感謝の意を表します。多くの方々のサポートがなければ本論文は決して完成することはなかったと考えています。

参考文献

- Gawer Annabelle & Cusumano A. Michael (2005) *Platform Leadership: How Intel, Microsoft, and Cisco Drive Industry Innovation*, Cambridge: Harvard Business School Press (小林敏男訳 (2005)『プラットフォーム・リーダーシップ』、有斐閣)
- 青木昌彦、安藤晴彦 (2002)『モジュール化 新しい産業アーキテクチャの本質』東洋経済新報社
- 赤堀正幸 (1988)『ウルトラ・クリーン技術』ダイヤモンド社
- 赤堀正幸 (1989)『三菱電機には CATS がいる』ダイヤモンド社
- 長内厚、榊原清則 (2012)『アフターマーケット戦略』白桃書房
- 佐野昌 (2009)『岐路に立つ半導体産業』日刊工業新聞社
- 延岡健太郎 (2006)『MOT [技術経営] 入門』日本経済新聞出版社
- 延岡健太郎 (2011)『価値づくり経営の論理』日本経済新聞出版社
- 藤本隆宏、キム B. クラーク (2009)『製品開発力』ダイヤモンド社
- 藤本隆弘、武石彰、青島矢一編 (2001)『ビジネス・アーキテクチャ』有斐閣
- 奥山幸祐 (2010)「半導体の歴史」『SEAJ Journal』2010 年 11 月号～2011 年 3 月号
- 酒井健 (2014)「製造業のサービス能力の無効化ーキャタピラーとコマツの競争を事例としてー」『日本経営学会誌』第 34 号、pp15-25
- 立石博文 (2008)「半導体産業における共同研究開発の歴史」『赤門マネジメント・レビュー』7 巻 5 号、pp263-274
- 経済産業省製造産業局編 (2013)『2012 年版ものづくり白書』、経済産業省
- 経済産業省標準化経済性研究会編 (2006)『国際競争とグローバル・スタンダード』、日本規格協会